

IDENTIFIERING AV VIRTUELLT RASTERMÖNSTER

Tekniskt område

Föreliggande uppfinning hänför sig allmänt till identifiering av rastermönster, speciellt i samband med positionsavkodning på en yta som är försedd med ett flertal positionskodande markeringar. Närmare bestämt avser
5 uppfinningen identifiering av ett virtuellt rastermönster i en avbildning av denna yta, på vilken varje markering är associerad med en respektive korsningspunkt för rasterlinjer tillhörande det virtuella rastermönstret.

10 Bakgrund till uppfinningen

I många sammanhang är det önskvärt att kunna bestämma en absolut position på en yta. Ett exempel är vid digitalisering av ritningar. Ett annat exempel är när man vill åstadkomma en elektronisk version av handskriven
15 information.

Exempel på tidigare kända anordningar för positionsbestämning finns i US-A-5 852 434, där en anordning för bestämning av en absolut position beskrivs. Anordningen innefattar en skrivyta som är försedd med ett
20 positionskodningsmönster med vars hjälp x-y-koordinater kan bestämmas, en detektor som kan detektera positionskodningsmönstret och en processor som på basis av det detekterade positionskodningsmönstret kan bestämma detektorns position i förhållande till skrivytan. Anordningen
25 gör det möjligt för en användare att mata in handskriven och handritad information i en dator samtidigt som informationen skrivs/ritas på skrivytan.

Tre exempel på positionskodning ges i US-A-5 852 434. Det första exemplet består av symboler som var
30 och en är uppbyggda av tre koncentriskt cirkel. Den yttersta cirkeln representerar x-koordinaten och den mellersta y-koordinaten. De båda yttersta cirkelarna är vidare uppdelade i 16 delar som beroende på om de är fyllda eller inte anger olika tal. Detta innebär att

varje koordinatpar x , y kodas med en komplex symbol med ett speciellt utseende.

I det andra exemplet anges koordinaterna i varje punkt på skrivytan med hjälp av en staplad streckkod, varvid en streckkod för x -koordinaten är angiven ovanför en streckkod för y -koordinaten.

Som ett tredje exempel anges att ett schackrutmönster kan användas för att koda x - och y -koordinaterna. Det finns dock ingen förklaring till hur schackrutmönstret är uppbyggt eller hur det kan översättas till koordinater.

Ett problem med positionskodningsmönstret enligt US-A-5 852 434 är att det är uppbyggt av komplexa symboler och ju mindre dessa symboler görs desto svårare blir det att framställa den mönstrade skrivytan och desto större blir risken för felaktiga positionsbestämningar, men ju större symbolerna görs desto sämre blir positionsupplösningen.

Ett ytterligare problem är att processorns behandling av det detekterade positionskodningsmönstret blir tämligen komplicerad på grund av att det är komplexa symboler som skall tolkas.

Ännu ett problem är att sensorn måste utformas så att den kan registrera fyra symboler samtidigt så att den säkert får med minst en symbol i sin helhet, vilket krävs för att positionsbestämningen skall kunna genomföras. Förhållandet mellan erfordrad sensoryta och den yta av positionskodningsmönstret som definierar en position är således stort.

I internationella patentansökan PCT/SE00/01895, vilken är överläten till föreliggande sökande, beskrivs en positionskod som övervinner ovanstående problem. Positionskoden består av ett raster och markeringar, som är belägna vid varje rasterpunkt. Markeringarna är företrädesvis huvudsakligen lika stora, runda samt förskjutna i förhållande till rasterpunkterna i endera av fyra orto-

gonala riktningar. Rastret är virtuellt och är sålunda osynligt för såväl ögat som sensorer.

- För att avkoda ovannämnda positionskod erfordras att det virtuella rastret identifieras. Identifieringen av rastret är föremål för föreliggande uppfinning.

Sammanfattning av uppfinningen

Föreliggande uppfinning har således som ändamål att anvisa ett sätt att identifiera ett virtuellt rastermönster i en avbildning av inledningsvis beskrivet slag.

- 10 Ett speciellt ändamål är att möjliggöra identifiering av ett regelbundet, virtuellt rastermönster i en avbildning som är registrerad med en okänd vridning och/eller ett okänt perspektiv mellan den avbildande sensorn och den avbildade ytan.

- 15 Dessa och andra ändamål, som kommer att framgå av följande beskrivning, uppnås helt eller delvis genom sätt enligt efterföljande patentkrav 1 och 26, en datorprogramprodukt enligt efterföljande patentkrav 27 och en anordning för positionsbestämning enligt efterföljande
- 20 patentkrav 28. Föredragna utföringsformer definieras i de underordnade patentkraven.

- Enligt uppfinningen används någon form av Fourieranalys för identifiering av det virtuella rastermönstret. Detta ger ett flertal viktiga fördelar. Vid Fourieranalysen bearbetas hela avbildningen, eller en delmängd därav, som en enhet. Därmed kan identifieringen verkställas med
- 25 låg känslighet för lokala störningar, t ex brus i avbildningen eller smuts på den avbildade ytan. Användningen av Fourieranalys möjliggör också effektiv och entydig
- 30 kompensering för en okänd vridning och/eller ett okänt perspektiv mellan den avbildande sensorn och den avbildade ytan.

- Ovannämnda Fourieranalys omfattar klassisk Fourieranalys, vilken dock normalt är mycket beräkningskrävande
- 35 och ofta ersätts av FFT, Fast Fourier Transformation, som också kan användas i föreliggande uppfinning.

Enligt ett föredraget utförande verkställs, före
 Fourieranalysen av avbildningen, en omvandling av avbild-
 ningen till en uppsättning diskreta enhetspulser som pla-
 ceras i markeringarnas positioner i avbildningen. Därmed
 5 kan en beräkningstekniskt förenklad, klassisk Fourierana-
 lys användas. En dubbelintegral ersätts därvid av en
 summa över de diskreta enhetspulserna, varvid antalet
 erforderliga operationer reduceras. Identifieringen via
 Fourieranalys kan således verkställas på beräkningstek-
 10 niskt effektivt vis och implementeras i en snabb program-
 kod som kan exekveras av en strömsnål processor i real-
 tid.

Företrädesvis placeras varje enhetspuls i tyngd-
 punkten av motsvarande markering. Därmed uppnås att varje
 15 markering motsvaras av en enda placering som är entydig
 och väsentligen oberoende av markeringens form. Likaså
 minimeras inverkan av oskärpa i avbildningen, beorende på
 rörelse eller att bilden inte befinner sig det optiska
 systemets fokus.

20 Enligt ett föredraget utförande omfattar Fourier-
 analysen stegen att beräkna ett spatialt frekvensspektrum
 i två dimensioner på basis av avbildningen, att utgående
 från frekvensspektrat identifiera minst två huvudvektorer
 hos avbildningen, och att på basis av huvudvektorerna
 25 identifiera rastermönstrets rasterlinjer. De av Fourier-
 analysen resulterande huvudvektorerna återger de domine-
 rande riktningarna i avbildningen, närmare bestämt norma-
 lerna till rasterlinjernas riktningar, och huvudvektorer-
 nas längder motsvarar avbildningens dominerande spatial-
 30 frekvenser längs huvudvektorerna. I ett ortogonalt, lik-
 formigt rastermönster är huvudvektorerna således två
 inbördes ortogonala vektorer med en längd motsvarande de
 inbördes avstånden mellan rasterlinjerna.

Det bör noteras att begreppet "spatialt frekvens-
 35 spektrum", inom ramen för uppfinningen, även innefattar
 sin invers, d v s ett "spatialt våglängdsspektrum".

Det är föredraget att det spatiala frekvensspektrat beräknas på basis av ett centralt parti av avbildningen. Därmed minimeras ogynnsam inverkan av ett eventuellt perspektiv i avbildningen. Om avbildningen innehåller ett perspektiv så kommer nämligen de spatiala frekvenserna att variera över avbildningen, och mest i det perifera partierna av denna. Vidare minskas beräkningstiden, eftersom en delmängd av avbildningen utvärderas. I vissa fall medför valet av det centrala partiet också lägre krav på avbildningskvalitet och/eller belysning av den yta som avbildas.

Enligt ett föredraget utförande identifieras huvudvektorerne genom att man i det spatiala frekvensspektrat lokaliserar positioner för toppar som överskrider ett givet tröskelvärde, och att man på basis av dessa positioner väljer huvudvektorer.

Det bör också noteras att det, ehuru möjligt, inte är nödvändigt att beräkna ett fullständigt spatialt frekvensspektrum i två dimensioner, dvs för alla tänkbara riktningar och spatialfrekvenser i avbildningen. Det spatiala frekvensspektrat beräknas eller "samplas" dock företrädesvis utgående från en tvådimensionell Fouriertransform längs minst två riktningar i avbildningen.

Enligt ett ytterligare föredraget utförande sker beräkningen av det spatiala frekvensspektrat och identifieringen av huvudvektorerne däri genom att man stegvis ändrar riktningen för en riktningsvektor inom ett vinkelintervall, på basis av varje sådan riktningsvektor beräknar minst ett absolutvärde av den tvådimensionella Fouriertransformen för avbildningen, och identifierar de absolutvärden som överskrider nämnda tröskelvärde. Vinkelintervallet, som typiskt är 180° eller mindre eftersom ett större vinkelintervall resulterar i redundant information, avsöks typiskt i steg om ca 2° - 4° , även om mindre eller större steg kan användas i vissa tillämpningar. Tröskelvärdet är typiskt 30-70% av det teoretiskt maximala absolutvärdet, vilket är proportionellt mot

antalet markeringar i den delmängd av avbildningen som underkastas Fourieranalysen. Det maximala absolutvärdet kan således beräknas för varje delmängd.

Det är föredraget att riktningsvektorns längd, under
5 avsökningen av vinkelintervallet, ändras inom ett frekvensintervall som innefattar rastermönstrets nominella spatialfrekvens, dvs spatialfrekvensen hos rastermönstret på den avbildade ytan. Frekvensintervallet är lämpligen valt så att det innehåller alla tänkbara spatialfrekven-
10 ser som kan uppkomma som resultat av avbildningsförhållandet (vridning/perspektiv) mellan den avbildande sensorn och den avbildade ytan. För en avbildning i form av en mängd enhetspulser medför beräkningen av Fouriertransformen för varje ny längd av en given riktnings-
15 vektor endast ett extra additionssteg, vilket kan utföras på beräkningseffektivt vis. Företrädesvis ändras riktningsvektorns längd i steg som är omvänt proportionella mot någon lämplig 2-potens, t ex åttondelar (2^{-3}), eftersom steglängden då kan beräknas genom ett tidseffektivt
20 bit-skift. Det är tänkbart att den stegvisa ändringen av riktningsvektorns längd avbryts vid identifiering av ett eller flera absolutvärden som överskrider tröskelvärdet, och att riktningsvektorns riktning ändras inom vinkelintervallet för beräkning av ett nytt absolutvärde av den
25 tvådimensionella Fouriertransformen.

Lämpligen lokaliserar positionen för var och en av topparna genom beräkning av tyngdpunkten för de absolutvärden som överskrider tröskelvärdet och som angränsar varandra i det spatiala frekvensspektrat. Detta ger en
30 förhållandevis noggrann positionsbestämning för topparna, även vid grov avsökning av vinkelintervallet.

Enligt ett föredraget utförande omfattar delsteget att välja minst två huvudvektorer att man låter varje topp-position identifiera en kandidatvektor, att man
35 låter minst en aktuell avbildningstransform, som ger en given ändring av förhållandet mellan två vektorer, operera på kandidatvektorerna, och att man som huvudvektorer

väljer de kandidatvektorer som för nämnda minst en aktuell avbildningstransform uppnår ett önskat inbördes förhållande. Detta delsteg verkställs för att utröna vilka av de lokaliserade topp-positionerna som återger
 5 huvudvektorer. Topp-positionerna kan, vid sidan av huvudvektorer, återge andra ordningens dominerande mönster i avbildningen, t ex diagonalmönster, eller mönster till följd av störningar/brus.

Avbildningstransformen är lämpligen en transform,
 10 t ex elliptisk, som ändrar både längdförhållandet och vinkelförhållandet mellan vektorerna. Det önskade inbördes förhållandet är i detta fall ett längd- och vinkelförhållande som överensstämmer med förhållandet mellan rasterlinjerna i det ursprungliga rastermönstret, dvs det
 15 virtuella rastermönstret på den avbildade ytan. Om det ursprungliga rastermönstret exempelvis är ett ortogonalt, likformigt rastermönster bör således avbildningstransformen överföra huvudvektorerna till ett ortogonalt vinkelförhållande med längdförhållandet 1:1.
 20 Om en av kandidatvektorerna motsvarar en diagonalriktning i avbildningen, så bör vinkelförhållandet således vara 45° och längdförhållandet vara $1:\sqrt{2}$.

Det är tänkbart att sekventiellt låta en serie av olika aktuella avbildningstransformer operera på kandidatvektorerna, åtminstone tills ett önskat inbördes förhållande uppnås mellan kandidatvektorerna. Alternativt kan den aktuella avbildningstransformen väljas adaptivt, närmare bestämt på basis av en tidigare avbildnings-
 25 transform som gav upphov till det önskade förhållandet för en föregående avbildning.
 30

Det är föredraget att varje aktuell avbildnings-
 35 transform motsvarar ett givet avbildningsförhållande mellan den avbildande sensorn och den avbildade ytan. I ett mycket beräkningseffektivt, men relativt onoggrant, utförande härleds avbildningsförhållandet utgående från vilken avbildningstransform som ger upphov det önskade förhållandet mellan kandidatvektorerna, varpå vridning

och perspektiv i avbildningen minimeras på basis av detta, avbildningsförhållande.

Enligt ett alternativt utförande väljs istället huvudvektorerna på basis av tidigare huvudvektorer som
 5 fastställts för en föregående avbildning. Det är tänkbart att sätta huvudvektorerna lika med de tidigare huvudvektorerna, eller att vikta in information om dessa tidigare huvudvektorer vid identifieringen av huvudvektorerna, exempelvis för att effektivisera lokaliseringen av toppar
 10 i det spatiala frekvensspektrat.

Enligt ett fördraget utförande transformeras markeringarna med de identifierade huvudvektorerna som bas för åstadkommande av en vridningskorrigerad avbildning i vilken vridning av markeringarna över avbildningens bildplan
 15 är väsentligen eliminerad.

Enligt ett ytterligare fördraget utförande verkställs en kompensering för perspektiv i den sålunda vridningskorrigerade avbildningen. Denna kompensering kan föregås av en behovsprövning, enligt vilken man fastställer bredden på de mot huvudvektorerna svarande topparna i ett spatialt frekvensspektrum av nämnda vridningskorrigerade avbildning. Om bredden överstiger ett givet breddvärde verkställs perspektivkompenseringen. Bredden av topparna kan fastställas på beräkningseffektivt vis eftersom topparnas positioner i det spatiala
 20 frekvensspektrat väsentligen är kända från föregående behandlingssteg.
 25

Perspektivkompenseringen omfattar lämpligen att man mäter en lutningsvariation för rastermönstret längs varje
 30 huvudvektor i den vridningskorrigerade avbildningen, att man på basis av den uppmätta lutningsvariationen beräknar en perspektivtransform som väsentligen eliminerar lutningsvariationen, och att man medelst perspektivtransformen åstadkommer en perspektivkorrigerad avbildning. Detta
 35 är ett beräkningseffektivt sätt att med hög noggrannhet åstadkomma en perspektivkorrigerad avbildning.

Det är i detta sammanhang föredraget att mätningen av lutningsvariationen för rastermönstret längs en vald huvudvektor omfattar att man via Fourieranalys av minst två längs den valda huvudvektorn fördelade delmängder av den vridningskorrigerade avbildningen beräknar minst en delmängdshuvudvektor för varje delmängd, att man för varje delmängdshuvudvektor identifierar en utgångsposition i den tillhörande delmängden, och att man på basis av delmängdshuvudvektorerna och utgångspositionerna beräknar lutningsvariationen längs den valda huvudvektorn. Identifieringen av delmängdshuvudvektorerna via Fourieranalys kan åstadkommas på snabbt vis om man utgår från de kända huvudvektorerna. Delmängdshuvudvektorerna ligger nämligen i allmänhet nära huvudvektorerna.

Utgångspositionen identifieras företrädesvis på basis av tyngdpunkten för de i respektive delmängd ingående markeringarna. Därmed påverkas identifieringen av utgångspositionen i endast liten omfattning av avbildningsfel, såsom kraftiga perspektiv, förlorade markeringar, extra markeringar, brus etc. Alternativt skulle utgångspositionen kunna sättas till delmängdens mittpunkt, varigenom de erforderliga beräkningarna minimeras.

Ett ytterligare föredraget utförande omfattar stegen att via Fourieranalys av den vridningskorrigerande eller perspektivkorrigerade avbildningen mäta dess fasförskjutning längs respektive huvudvektor, och att på basis av de uppmätta fasförskjutningarna lokalisera rastermönstret relativt markeringarna i avbildningen. Fasförskjutningen fås lämpligen som fasvinkeln för den tvådimensionella Fouriertransformen av avbildningen för huvudvektorerna och kan enkelt elimineras genom en transformationsoperation. Rasterlinjernas riktningar ges sedan av normalerna till huvudvektorerna, och avståndet mellan rasterlinjernas korsningspunkter längs huvudvektorerna ges av huvudvektorernas längder.

I vissa fall är det önskvärt att beräkna en normeringstransform som placerar rastermönstrets korsnings-

punkter på ett givet inbördes avstånd, t ex på heltalskoordinater, och att operera normeringstransformen på avbildningen för åstadkommande av en normerad avbildning.

Enligt en annan aspekt av föreliggande uppfinning avser denna en datorprogramprodukt som är avläsbar för en dator och innefattar ett datorprogram med instruktioner för att bringa datorn att genomföra sättet för identifiering enligt ovan. Denna datorprogramprodukt kan exempelvis omfatta ett icke-flyktigt minne till en dator, såsom en diskett eller CD-ROM, eller ett flyktigt minne i en dator. Datorprogramprodukten kan alternativt omfatta propagerande signaler, såsom en bitström för paketöverföring via Internet eller liknande, eller bärvägor som överförs trådburet eller trådlöst till datorn.

Enligt ytterligare en aspekt av föreliggande uppfinning avser denna en anordning för positionsbestämning. Anordningen innefattar en sensor för åstadkommande av en avbildning av en delyta av en yta, vilken är försedd med en positionskod i form av ett flertal markeringar som var och en är associerad med en av ett flertal korsningspunkter tillhörande ett virtuellt rastermönster, och ett bildbehandlingsorgan, som är anordnat att utifrån en delmängd av ytan beräkna en position för delytan. Bildbehandlingsorganet är därvid utformat att identifiera det virtuella rastermönstret i enlighet med sättet ovan.

Fördelarna med datorprogramprodukten och anordningen för positionsbestämning framgår av ovanstående redogörelse. Särdragen som beskrivs i samband med sättet att identifiera ett virtuellt rastermönster är självfallet tillämpbara även på anordningen för positionsbestämning.

Kort beskrivning av ritningarna

Uppfinningen beskrivs nedan i exemplifierande syfte med hänvisning till bifogade ritningar, vilka åskådliggör en för närvarande föredragen utföringsform och på vilka fig 1A-1B visar ett exempel på en yta med ett positionskodningsmönster respektive en avbildning av densamma,

fig 2 illustrerar några av de bearbetningsteg som verkställs vid identifiering av det virtuella rastermönstret i avbildningen enligt fig 1B,

fig 3 visar den tvådimensionella Fouriertransformen av avbildningen enligt fig 1B, med de faktiska beräkningspunkterna markerade med svarta symboler,

fig 4 visar avbildningen enligt fig 1B efter vridningskompensation,

fig 5A-D visar tvådimensionella Fouriertransformer av delmängder av avbildningen enligt fig 4, med de faktiska beräkningspunkterna markerade med svarta symboler,

fig 6 är ett diagram över den beräknade lutningsvariationen längs två huvudvektorer hos avbildningen enligt fig 4,

fig 7 visar avbildningen enligt fig 4 efter eliminering av perspektiv,

fig 8 visar en tvådimensionell Fouriertransform av avbildningen enligt fig 7, med de faktiska beräkningspunkterna markerade med symboler,

fig 9 visar avbildningen enligt fig 7 efter kompensation för förskjutning längs huvudvektorerna, varvid det ursprungliga, ortogonala rastermönstret är identifierat,

fig 10 visar en anordning som kan användas för positionsbestämning,

fig 11 visar ett positionskodningsmönster med triangulärt rastermönster, och

fig 12 visar ett positionskodningsmönster med hexagonalt rastermönster.

Beskrivning av föredragna utföringsformer

I fig 1a visas en del av en produkt 1 som på åtminstone en del av sin yta 2 är försedd med ett optiskt avläsningsbart positionskodningsmönster 3 som möjliggör positionsbestämning. Positionskodningsmönstret 3 innefattar markeringar 4 som är systematiskt anordnade över ytan, så att denna har ett "mönstrat" utseende. Positionsbestämningen kan utföras på hela produktens yta. I andra fall kan ytan som medger positionsbestämning utgöra

en mindre del av produkten. Produkten kan exempelvis användas för att åstadkomma en elektronisk representation av information som skrivs eller ritas på ytan. Den elektroniska representationen kan åstadkommas genom att man

5 löpande under skrivning på ytan med en penna, bestämmer pennans position på pappret genom avläsning av positionskodningsmönstret.

Positionskodningsmönstret innefattar närmare bestämt ett virtuellt raster 5 (indikerat med streckade linjer i

10 fig 9), som alltså varken syns för det mänskliga ögat eller kan detekteras direkt av en anordning som skall bestämma positioner på ytan, och markeringarna 4 som var och en, beroende på sin placering, representerar ett av fyra värden. Värdet på en markering 4 beror på dess

15 placering i förhållande till dess nominella position 6 (fig 9), vilken även kan kallas för dess virtuella rasterpunkt och representeras av skärningspunkten mellan rasterlinjerna 7 (fig 9). Markeringen 4 har formen av en cirkulär punkt. I exemplet i fig 9 finns fyra möjliga

20 placeringar, en på var och en av rasterlinjerna 7 som utgår från den nominella positionen 6. Förskjutningen från den nominella positionen 6 är lika stor för alla värden. Det virtuella rastret 5 är i detta fall ortogonalt och har samma delning i sina båda huvud- eller

25 rasterriktningar. Det skall i detta sammanhang påpekas att positionskodningsmönstret i fig 1A och fig 9 av åskådlighetsskäl är kraftigt förstorat. Dessutom visas det bara på en del av produkten.

För detaljer kring genereringen av positionskodningsmönstret, och avkodningen av detsamma för positionsbestämning, hänvisas till sökandens svenska patentansökan PCT/SE00/01895.

30

För att positionskoden skall kunna detekteras behöver det virtuella rastret bestämmas. Detta måste ske

35 med hög noggrannhet och i realtid utgående från en bild av en delyta med ett antal markeringar 4. I fig 1B visas en sådan bild av delytan 8 i fig 1A. Av tydlighetsskäl är

de avbildade markeringarna något större än övriga markeringar i fig 1A. I bilden enligt fig 1B är mönstret distorderat på grund av att sensorn inte har hållits parallellt med den avbildade delytan. Bilden innehåller därför såväl ett okänt perspektiv, p g a snedställning ("tilt") av sensorn relativt delytan, och en okänd vridning i bildplanet, p g a vridning ("skewing") av sensorn kring dess normalriktning.

I fig 2 indikeras huvudstegen för återskapande av det ursprungliga punktmönstret och identifiering av det virtuella rastret utgående från en registrerad bild. Huvudstegen innefattar förbehandling av bilden (steg 100), detektion av bildens huvudvektorer via Fourieranalys (steg 101), kompensation för vridning i bildplanet genom projicering av markeringarna längs huvudvektorerna (steg 102), detektion av perspektivet i den vridningskorrigerade bilden via Fourieranalys (steg 103), borttransformering av det detekterade perspektivet (steg 104), detektion av fasinnehållet i den perspektivkorrigerade bilden via Fourieranalys (steg 105) och slutligen borttransformering av fasinnehållet för åstadkommande av ett återskapat punktmönster med tillhörande virtuellt raster (steg 106).

I det följande kommer vart och ett av huvudstegen att beskrivas i större detalj.

Förbehandling (steg 100)

Förbehandlingen syftar till att identifiera alla markeringar 4 i bilden. Detta kan ske genom tröskling, vid vilken en markering identifieras av ett eller flera bildelement (pixlar) med ett värde över ett förutbestämt eller beräknat tröskelvärde. Tyngdpunkten för alla sådana bildelement tillhörande en markering beräknas och används i den fortsatta behandlingen. Därmed inverkar markeringens utseende i bilden så lite som möjligt på markeringens sedermera beräknade förskjutning från den nominella positionen. Sedan omvandlas bilden till en punktmängd genom att markeringarna ersätts med enhetspulser

(s k Dirac-pulser, δ) som är placerade markeringarnas tyngdpunkter.

När punktmängden är definierad verkställs ett antal delsteg som baserar sig på Fourieranalys av bilden, eller
5 snarare ovannämnda punktmängd.

Den generella tvådimensionella Fouriertransformen av en bild $f(x, y)$ är av formen:

$$F(u, v) = \iint_{\text{bild}} f(x, y) \cdot e^{-2\pi i \cdot (ux + vy)}$$

Eftersom bilden är omvandlad till en punktmängd ges
10 Fouriertransformen av uttrycket:

$$\begin{aligned} F(u, v) &= \iint_{\text{bild}} \delta(x - x_j, y - y_k) \cdot e^{-2\pi i \cdot (u \cdot x + v \cdot y)} \\ &= \sum_{j,k} e^{-2\pi i \cdot (u \cdot x_j + v \cdot y_k)} \end{aligned}$$

där punktmängden är $\{x_j, y_k\}$, och (u, v) är en riktningsvektor, eftersom integralen av en Dirac-puls är ett (1), och bildfunktionen mellan Dirac-pulserna är noll
15 (0).

Detta uttryck kan beräknas förhållandevis snabbt, eftersom antalet operationer blir endast lika med antalet detekterade punkter, d v s vanligtvis av storleksordningen 100.

20 Detektion av huvudvektorer (steg 101)

Efter förbehandlingen av bilden analyseras punktmängden för detektion av dess huvud- eller rastervektorer, dvs dess dominerande riktningar och dominerande spatialfrekvenser. Detta görs genom beräkning av Fourier-
25 transformen av punktmängden för olika riktningsvektorer (u, v) . Absolutvärdena av de beräknade Fouriertransformerna $|F(u, v)|$ ger ett spatialt frekvensspektrum i två dimensioner.

I fig 3 visas ett spatialt frekvensspektrum för
30 punktmängden i fig 1b. Mörka områden indikerar högre spektrala amplituder. Det centrala, mörka området bildar

origo, dvs $(u,v)=(0,0)$. I stället för att beräkna hela det tvådimensionella frekvensspektrum som visas i fig 3, så beräknar man Fouriertransformen i ett antal punkter, d v s för ett antal olika riktningsvektorer (u,v) . Dessa punkter är markerade i fig 3. Närmare bestämt "sveps" stegvis ett bandformigt område i ett halvplan av frekvensdomänen. Därvid beräknas flera summor längs en och samma sökriktning. I syfte att effektivisera beräkningarna sker endast skalning längs sökriktningen, och skalärprodukten $(u_0 \cdot x_j + v_0 \cdot y_k)$ beräknas bara en gång per riktningsvektor (u_0, v_0) . Skalningen utförs iterativt och ger bara upphov till en extra addition per steg och punkt i varje sökriktning.

I pseudokod kan detta skrivas:

```

15      for punkt=1 to N
           $\alpha_0 = u_0 \cdot \text{punkt}.x + v_0 \cdot \text{punkt}.y$ 
           $d\alpha_0 = \alpha_0 / 8$ 
          for summa=0 to 11
20               $dsum = \exp(-2 \cdot \pi \cdot i \cdot \alpha_0)$ 
                   $sum(summa) = sum(summa) + dsum$ 
                   $\alpha_0 = \alpha_0 + d\alpha_0$ 
          next summa
      next punkt

```

25 Det är lämpligt att i varje sökriktning använda steg som är omvänt proportionella mot någon lämplig 2-potens (2^N), t ex åttondelar enligt ovan, eftersom beräkningen av steget ($d\alpha_0$) därmed reduceras till ett beräknings-effektivt bit-skift.

35 Bredden på sökbandet i frekvensplanet fastställs utifrån hur mycket avbildningsdistortionen kan antas förändra det ursprungliga mönstrets (fig 1A) spatial-frekvenser längs huvudvektorerna. Detta beror i sin tur på i vilka lägen den avbildande sensorn kan förväntas vara placerad. Normalt sträcker sig sökbandet på båda sidor om mönstrets nominella spatialfrekvenser, d v s

avståndet mellan rasterlinjerna i det ursprungliga
mönstret. Självfallet kan storleken på stegen i varje
sökriktning respektive stegen i svepriktningen varieras i
beroende av tillgänglig processorkraft, önskad beräk-
ningstid och önskad noggrannhet.

Av det ovanstående framgår att sökningen i frek-
vensplanet sker genom beräkning av ett antal av varandra
oberoende summor. Sökningen är således av parallell natur
och lämpar sig därför väl för implementering i hårdvara,
såsom en ASIC.

Efter eller under beräkningen av detta "samplade"
spatiala frekvensspektrum i två dimensioner identifieras
kandidatvektorer c1-c3, utgående från beräkningspunkter-
nas värden. Alla beräkningspunkter med ett värde över ett
tröskelvärde anses vara signifikanta (markerade med svar-
ta kryss i fig 3) och används för beräkning av koordina-
terna för kandidatvektorerna c1-c3. Tröskelvärdet bestäms
som en andel, t ex 50%, av det teoretiskt maximala ampli-
tudvärdet, vilket är proportionellt mot antalet marke-
ringar i bilden. Antalet markeringar är känt från förbe-
handlingssteget. Om flera relevanta beräkningspunkter
gränsar till varandra i frekvensplanet anses tyngdpunkten
av dessa ge koordinaten för en kandidatvektor c1-c3 i
frekvensplanet (kandidatvektor som senare visar sig vara
huvudvektor eller diagonalvektor är markerad med vit
respektive svart stjärna i fig 3).

Det må påpekas att alla punkter i punktmängden inte
utnyttjas vid ovanstående beräkning, utan endast de som
ligger närmast bildens mitt. Typiskt används ca 50% av de
tillgängliga punkterna. Detta görs av i huvudsak två
skäl. Om samtliga punkter skulle tas med, riskerar
topparna i frekvensplanet (fig 3) att bli alltför breda,
och därmed svåra att detektera, framförallt vid stora
perspektiv. Detta på grund av att perspektiv ger upphov
till stora frekvensändringar i perifera delar av bilden.
I bildens mitt stämmer dock de spatiala frekvenserna
förhållandevis väl överens med de spatiala medelfrekven-

serna i bilden. Dessutom undviks problem med otillräcklig belysning av bildens periferi, och åtföljande höga brusnivåer. Vidare minskar beräkningstiden i proportion till minskningen av antalet punkter.

- 5 Efter ovanstående beräkningssteg har ett antal toppar detekterats i frekvensplanet. Dock återstår att avgöra vilka av de detekterade topparna som motsvarar huvudvektorer. Om bilden är registrerad utan perspektiv mellan sensorn och den mönstrade produkten så kan diagonalvektorn särskiljas genom att den har en längd som är $\sqrt{2}$ gånger längre än huvudvektorerna, som dessutom är ortogonala mot varandra. Detta gäller dock inte vid mer extrema perspektiv, såsom i fig 1B, då varken huvudvektorerna är ortogonala eller längdförhållandet mellan diagonalvektor och huvudvektor är $\sqrt{2}$. Dessutom kan ett eller flera ogiltiga maxima ha detekterats i frekvensplanet, exempelvis som resultat av störningar eller brus i bilden.

- 20 För identifieringen av huvudvektorer används ett antal, typiskt ca 25, avbildningstransformer motsvarande ett antal givna avbildningsförhållanden mellan sensorn och produkten. I fallet med en penna kan ju denna rent fysiskt bara vinklas och vridas relativt produkten på ett begränsat antal olika sätt. Avbildningstransformerna återför en given distorderad frekvensdomän till en ortogonal och likformig frekvensdomän, d v s en frekvensdomän där huvudvektorerna verkligen är ortogonala och där längdförhållandet mellan en diagonalvektor och en huvudvektor är $\sqrt{2}$. Avbildningstransformerna ger typiskt upphov till en s k elliptisk transformation.

- Efter identifieringen av kandidatvektorerna c1-c3 låter man avbildningstransformerna operera på dessa kandidatvektorer c1-c3 och mäter hur väl de transformerade kandidatvektorexnas egenskaper (riktning och längd) verkar överensstämma med sanna huvudvektorer.

Ovanstående kan genomföras genom att alla avbildningstransformer tillåts operera på alla kandidatvektorer

c1-c3, att de transformerade kandidatvektorerna åsätts poäng utgående från sina inbördes förhållanden, och att huvudvektorerna identifieras bland de transformerade kandidatvektor som fick högst poäng. Vid behov kan också den avbildningstransform som gav upphov till högst poäng identifieras.

Ett mer beräknings effektivt alternativ är uppdelat på två delsteg. I det första delsteget tillåts en sekvens av avbildningstransformer operera på alla par av kandidatvektorer c1-c3, för identifiering av alla potentiella par av huvudvektorer och de avbildningstransformer som gav upphov till dessa potentiella par. Potentiella par av huvudvektorer har efter transformationen ett ortogonalt inbördes vinkelförhållande, ett inbördes längdförhållande om 1:1 och givna längder. Dessa kriterier bedöms självfallet inom givna toleranser. Kriteriet att vektorerna efter transformationen skall ha givna längder syftar till att utesluta att två inbördes ortogonala diagonalvektorer misstas för huvudvektorer. I detta första delsteg avbryts lämpligen opererandet av olika avbildningstransformer på ett givet par av kandidatvektorer när detta identifieras som ett par av potentiella huvudvektorer, varpå sekvensen av avbildningstransformer tillåts operera på ett nytt par av kandidatvektorer. Detta minskar antalet nödvändiga operationer. I det andra delsteget tillåts de avbildningstransformer som gav upphov till de potentiella paren att operera på eventuella ytterligare kandidatvektorer, varpå dessa ytterligare kandidatvektorer åsätts poäng efter sin överensstämmelse med diagonalvektorer. Huvudvektorerna kan sedan identifieras som det par av kandidatvektorer som fick högst poäng. Uppdelningen i två delsteg medför att den ibland förhållandevis beräknings tunga poängbedömningen endast behöver verkställas för ett fåtal par av kandidatvektorer och ett fåtal avbildningstransformer.

Enligt ett ytterligare alternativ tillåts en sekvens av avbildningstransformer operera på alla par av

kandidatvektorer. Om en tillräckligt hög poäng uppnås för en aktuell avbildningstransform så väljs denna, annars testas nästa avbildningstransform i sekvensen.

Det är i detta sammanhang tänkbart att testa
 5 avbildningstransformerna adaptivt, d v s exempelvis på basis av användarens identitet och/eller den avbildnings-
 transform som valdes för en föregående bild. Det är nämligen sannolikt att på varandra följande bilder har av-
 bildats under snarlika förhållanden. En och samma använ-
 10 dare verkställer också sannolikt avbildningen på liknande vis varje gång.

Det är värt att notera att avbildningstransformerna och tillhörande beräkningar är enkla att utföra eftersom
 endast själva kandidatvektorerna transformeras, och inte
 15 hela punktmängden. Avbildningstransformerna kan vara 2×2 -
 matriser, och antalet operationer blir således fyra per avbildningstransform och kandidatvektorpar.

Eftersom varje avbildningstransform motsvarar ett känt förhållande mellan sensorn och produkten, ger ovan-
 20 stående detektionssteg en uppfattning om hur sensorn hålls relativt produkten. Vid låga krav på noggrannhet kan denna information användas direkt för att kompensera för perspektiv och vridning i bilden. Ofta krävs dock en mer noggrann kompensering.

Enligt ett alternativt angreppssätt sker ej sökning
 25 efter toppar i frekvensplanet. Istället väljs initialt en avbildningstransform som tillåts operera på punktmängden, eller en delmängd därav. Därefter identifieras den trans-
 formerade punktmängdens huvudvektorer via Fourieranalys,
 30 lämpligen genom ovan beskriva sökning efter toppar i frekvensplanet. Om ej tillfredsställande resultat uppnås väljs en ny avbildningstransform, varpå en ny identifie-
 ring av huvudvektorer verkställs via Fourieranalys. Denna metod är dock förhållandevis beräkningsintensiv, fram-
 35 förallt om avbildningsförhållandena ändras ofta mellan på varandra följande bilder. För minimering av antalet av-
 bildningstransformer som måste testas baseras valet av

avbildningstransform lämpligen på användarens identitet och/eller den för en föregående bild valda avbildningstransformen.

Kompensation för vridning (steg 102)

- 5 För att kompensera för vridning av punktmängden i bildplanet projiceras punktmängden längs de enligt ovan detekterade huvudvektorerna. Därmed erhålls en punktmängd som är huvudsakligen uppriktad, även om det fortfarande kan finnas kvar en icke-linjär störning i form av ett
10 perspektiv i bilden.

- I fig 4 åskådliggörs punktmängden i fig 1B efter sådan uppriktning. För att tydliggöra det kvarvarande perspektivet har också motsvarande virtuella raster markerats med streckade linjer. Det bör noteras att detta
15 raster har beräknats utgående från parametrar som fastställs vid nästföljande detektion av perspektiv (steg 103).

Detektion av perspektiv och compensation för detta (steg 103-104)

- 20 En generell egenskap hos perspektiv är att ursprungligen rätta linjer avbildas på linjer som konvergerar mot en perspektivpunkt. Det går att visa, se Appendix A, att dessa linjer korsar koordinataxlar (x_s , y_s) hos sensorn (bilden) på ett sådant sätt att linjernas lutningar
25 ($\Delta x_s / \Delta y_s$, $\Delta y_s / \Delta x_s$) ökar linjärt längs respektive koordinataxel:

$$\begin{cases} \frac{\Delta x_s}{\Delta y_s} = k k_x \cdot x_s + m k_x \\ \frac{\Delta y_s}{\Delta x_s} = k k_y \cdot y_s + m k_y \end{cases}$$

- I Appendix A visas också att ett lutande plan som ger upphov till detta perspektiv har en z-koordinat som
30 varierar enligt formeln:

$$z = C - k k_y \cdot x - k k_x \cdot y,$$

där x , y är rymdkoordinater på det lutande planet, d v s på produktens yta, och C är en skalfaktor.

Vidare visas i Appendix A att man kan kompensera för perspektiv medelst perspektivtransformen:

$$\begin{cases} x = -\frac{x_s^t}{1 - kk_x \cdot x_s^t - kk_y \cdot y_s^t} \\ y = -\frac{y_s^t}{1 - kk_x \cdot x_s^t - kk_y \cdot y_s^t} \end{cases}$$

där

$$\begin{cases} x_s^t = x_s - y_s \cdot mk_x \\ y_s^t = y_s - x_s \cdot mk_y \end{cases}$$

Innan denna transformering kan göras måste man således mäta hur rastermönstrets lutning varierar längs den vridningskorrigerade punktmängdens huvudvektorer (motsvarande koordinataxlarna x_s , y_s ovan). Denna lutningsvariation ger de sökta värdena på mk_x , mk_y , kk_x , kk_y .

Lutningsvariationen mäts via Fourieranalys. Punktmängden delas in i fyra delmängder kring bildens/sensors horisontella och vertikala symmetriaxlar, vars riktningar i praktiken väsentligen sammanfaller med huvudvektorernas riktningar. Varje delmängd omfattar punkterna i ett halvplan: över den horisontella symmetriaxeln, under den horisontella symmetriaxeln, till höger om den vertikala symmetriaxeln, till vänster om den vertikala symmetriaxeln. Till skillnad från vid ovan beskrivna detektion av huvudvektorer (steg 101) används här hela punktmängden vid indelningen i delmängder. Fouriertransformen för respektive delmängd beräknas på motsvarande vis som vid detektionen av huvudvektorer. Svepningen av frekvensplanet sker kring huvudvektorn och fortsätter tills alla signifikanta, angränsande toppvärden har detekterats. På motsvarande vis som vid detektionen av huvudvektorerna beräknas positionen för toppen som tyngdpunkten för alla de beräkningspunkter som gränsar till varandra i frekvensplanet.

I fig 5A-D visas beräkningen för respektive halvplan: övre (fig 5A), undre (fig 5B), vänster (fig 5C), höger (fig 5D), varvid svarta punkter indikerar beräkningspunkter utan detektion av något signifikant topp-

värde, svarta kryss indikerar beräkningspunkter med detektion av ett signifikant toppvärde, och vita stjärnor indikerar tyngdpunkten för respektive topp. Dessa tyngdpunkter definierar delmängdshuvudvektorer, vars riktning ger lutningen $(\Delta x_s/\Delta y_s, \Delta y_s/\Delta x_s)$ hos punktmängden i respektive halvplan. Det må påpekas att något fullständigt frekvensspektrum i två dimensioner inte beräknas. Av åskådlighetsskäl visas det dock i bakgrunden av fig 5A-5D, varvid det centrala, mörka området bildar origo,
 10 d v s $(u,v)=(0,0)$.

För extraheringen av mk_x, mk_y, kk_x, kk_y beräknas också utgångspositionerna för delmängdshuvudvektorerna i halvplanen. Utgångspositionerna beräknas lämpligen som tyngdpunkten av mängden enhetspulser i respektive halvplan, eftersom tyngdpunkten är förhållandevis okänslig för variationer av sensorsns läge, förlorade punkter och starkt perspektiv. Det är dock tänkbart att istället placera utgångspositionen i respektive halvplans geometriska centrum. För delmängdshuvudvektorerna tillhörande vänster och höger halvplan beräknas delmängdshuvudvektorernas korsningspunkter med den horisontella symmetriaxeln, och för delmängdshuvudvektorerna tillhörande de övre och undre halvplanen beräknas delmängdshuvudvektorernas korsningspunkter med den vertikala symmetriaxeln. Lutningarna och korsningspunkterna anpassas till en rät linje, från vilken mk_x, mk_y, kk_x, kk_y beräknas. I fig 6 visas ett diagram över lutningen längs en symmetriaxel som funktion av positionen på denna symmetriaxel. Svarta kryss indikerar de mätpunkter som erhöles vid Fourieranalysen enligt
 20
 25
 30 ovan baserad på punktmängden i fig 4.

När mk_x, mk_y, kk_x, kk_y är kända verkställs en kompen-
 35 sation för perspektiv via perspektivtransformen ovan. I fig 7 visas punktmängden i fig 4 efter kompenserig för perspektiv. Motsvarande virtuella raster har också markerats med streckade linjer.

Självfallet är det möjligt att dela in punktmängden i andra delmängder än de som beskrivits ovan för beräk-

ning av lutningsvariationen. Fler delmängder än två per huvudvektor kan användas för ökad noggrannhet.

Det bör också påpekas att andra transformer kan användas för kompensation för perspektiv. Exempelvis kan
 5 ovanstående perspektivtransform ersättas med den approximativa transformen:

$$\begin{cases} x = -x_s^t \cdot (1 + k k_x \cdot x_s^t + k k_y \cdot y_s^t) \\ y = -y_s^t \cdot (1 + k k_x \cdot x_s^t + k k_y \cdot y_s^t) \end{cases}$$

Lutningsvariationen hos den vridningskompenserade bilden kan mätas med andra metoder än Fourieranalys, t ex genom
 10 linjeanpassning enligt minsta-kvadrat-metoden. Till skillnad från den beskrivna Fourierbaserade metoden, som behandlar punktmängden som en ensemble, kräver sådana linjeanpassningsmetoder lokala beslut kring enskilda punkter, varför de är mer känsliga för störningar.
 15 Detektion av förskjutning och kompensation för denna (steg 105-106)

Efter kompensationen för perspektiv återstår i princip endast en konstant förskjutning längs huvudvektorerna. Såsom framgår av fig 7 är rastret i övrigt
 20 huvudsakligen rakt och väsentligen fritt från vridning i bildplanet. Förskjutningarna kan mätas som fasen i Fourieranalysen. Det som återstår är alltså att mäta denna fas och kompensera för den.

Fouriertransformen för hela punktmängden beräknas på
 25 motsvarande vis som vid detektionen av huvudvektorer. Svepningen av frekvensplanet sker kring de huvudvektorer som identifierades i steg 101 ovan och fortsätter tills alla signifikanta, angränsande toppvärden har detekterats. På motsvarande vis som vid detektionen av huvudvektorerna (steg 101) beräknas positionen för toppen som
 30 tyngdpunkten för alla de beräkningspunkter som gränsar till varandra i frekvensplanet. Resultatet för punktmängden i fig 7 visas i fig 8, varvid återigen svarta punkter indikerar beräkningspunkter utan detektion av
 35 något signifikant toppvärde, svarta kryss indikerar beräkningspunkter med detektion av ett signifikant

toppvärde, och vita stjärnor indikerar tyngdpunkten för respektive topp. Det må påpekas att något fullständigt tvådimensionellt frekvensspektrum inte beräknas. Av åskådlighetsskäl visas det dock i bakgrunden av fig 8, varvid det centrala, mörka området bildar origo, d v s $(u,v)=(0,0)$. Av fig 8 framgår också att topparna i frekvensplanet blir smalare efter kompensation för perspektiv. Topparnas bredd kan således användas för fastställning av om det överhuvudtaget finns behov av perspektivkompensation i en bild.

Samtidigt med lokaliseringen av respektive huvudvektor via absolutbeloppet av Fouriertransformen erhålls fasförskjutningen längs respektive huvudvektor från Fouriertransformens fasvinkel, som ges av förhållandet mellan dess realdel och imaginärdel. Denna fasförskjutning elimineras genom fastransformering av punktmängden, varpå en ny projektion görs längs de senast fastställda huvudvektorerna. Dessutom sker en skalning, på basis av huvudvektorernas längd, för säkerställande av att rastret lägger sig kring heltalskoordinater.

I fig 9 visas den återskapade bilden efter kompenserings för fas. Som synes är det virtuella rastret 5 korrekt lokaliserat relativt markeringarna/enhetspulserna, vilka nu kan avkodas på positionsinformation.

Enligt ett alternativ sker ingen sökning efter nya huvudvektorer i frekvensplanet eftersom dessa efter stegen 101-102 är förhållandesvis väldefinierade. Istället används fasvinklarna för de Fouriertransformer som beräknades för huvudvektorerna vid detektionen av dessa (steg 101).

Eventuellt verkställs en kompletterande finjustering av det identifierade rastermönstret efter ovannämnda faskompensation. Eftersom varje markering har ett känt avstånd till sin nominella position kan varje följd av markeringar längs varje huvudvektor anpassas, t ex via en minsta-kvadrat-metod, till en linje, vilken bildar en finjusterad rasterlinje.

Anordning för positionsbestämning

En utföringsform av en anordning för positionsbestämning visas schematiskt i fig 10. Den innefattar ett hölje 11, som är format ungefär som en penna. I höljets kortända finns en öppning 12. Kortänden är avsedd att ligga an mot eller hållas på litet avstånd från den yta på vilken positionsbestämningen skall ske.

Höljet inrymmer i huvudsak en optikdel, en elektronikdel och en strömförsörjning.

Optikdelen innefattar minst en lysdiod 13 för belysning av den yta som skall avbildas och en ljuskänslig areasensor 14, exempelvis en CCD- eller CMOS-sensor, för registrering av en tvådimensionell bild. Eventuellt kan anordningen dessutom innehålla ett optiskt system, såsom ett spegel- och/eller linssystem. Lysdioden kan vara en infraröd diod, och sensorn kan vara känslig för infrarött ljus.

Strömförsörjningen till anordningen erhålls från ett batteri 15 som är monterat i ett separat fack i höljet.

Elektronikdelen innehåller bildbehandlingsorgan 16 för bestämning av en position på basis av den med sensorn 14 registrerade bilden och närmare bestämt en processor-enhet med en processor som är programmerad till att läsa in bilder från sensorn och utföra positionsbestämning på basis av dessa bilder.

Anordningen innefattar också i denna utföringsform en pennspets 17, med vars hjälp man kan skriva vanlig färgämnesbaserad skrift på ytan på vilken positionsbestämningen skall ske. Pennspetsen 17 kan vara in- och utfällbar så att användaren kan styra om den skall användas eller ej. I vissa tillämpningar behöver anordningen inte ha någon pennspets alls.

Lämpligen är den färgämnesbaserade skriften av sådant slag att den är transparent för infrarött ljus, och lämpligen är markeringarna absorberande för infrarött ljus. Genom användningen av en lysdiod som avger infrarött ljus och en sensor som är känslig för infrarött ljus

sker avkännningen av mönstret utan att ovannämnda skrift interfererar med mönstret.

Anordningen kan också innefatta knappar 18 med vars hjälp anordningen aktiveras och styrs. Den har också en
 5 sändtagare 19 för trådlös överföring, t ex med IR-ljus, radiovågor eller ultraljud, av information till och från anordningen. Anordningen kan vidare innefatta en display 20 för visning av positioner eller registrerad information.

10 I sökandens svenska patent nr 9604008-4 beskrivs en anordning för registrering av text. Denna anordning kan användas för positionsbestämning om den programmeras på lämpligt sätt. Om den skall användas för färgämnesbaserad skrivning så måste den vidare kompletteras med en penn-
 15 spets.

Anordningen kan vara uppdelad i olika fysiska höljen, varvid ett första hölje innehåller komponenter som är nödvändiga för att ta bilder av positionskodnings-
 mönstret och för att överföra dessa till komponenter som
 20 finns i ett andra hölje och som utför positionsbestämningen på basis av den eller de registrerade bilderna.

Positionsbestämningen görs såsom nämnts av en processor som alltså måste ha programvara för att i en bild lokalisera och avkoda markeringarna och för att från det
 25 sålunda erhållna koderna bestämma positioner. Fackmannen kan, utifrån exemplet ovan, konstruera programvara som utför ovan beskrivna identifiering av det virtuella rastermönstret på basis av en bild av en del av ett positionskodningsmönster.

30 Anordningen är företrädesvis specificerad att användas med avbildningsförhållanden som ligger inom givna gränser. Avbildningsförhållandena kan definieras som dels en tillåten snedställning ("tilt") av anordningen (sensorn 14) relativt den yta som skall avbildas, exempelvis
 35 maximalt ca 60°, dels en tillåten vridning ("skewing") av anordningen kring dess längdaxel, exempelvis i intervallet ca $\pm 30^\circ$ relativt ett referensläge.

I utföringsexemplet ovan är mönstret optiskt avläsningsbart och sensorn således optisk. Mönstret kan emellertid vara baserat på en annan parameter än en optisk parameter. I sådant fall måste naturligtvis sensorn
 5 vara av en typ som kan avläsa den aktuella parametern. Exempel på sådana parametrar är kemiska, akustiska eller elektromagnetiska markeringar. Även kapacitiva eller induktiva markeringar kan användas.

Det inses att många variationer är möjliga inom
 10 ramen för föreliggande uppfinning. Ordningen mellan ovanstående steg 101-106 kan varieras inom ramen för uppfinningen. Exempelvis kan detektion av och kompensation för förskjutning ske före detektion av och kompensation för vridning och/eller perspektiv. Det är dock föredraget
 15 att verkställa förskjutningsstegen efter vridnings- och perspektivbehandlingsstegen, eftersom förskjutningsstegen beräkningstekniskt då blir speciellt enkla.

Det är också tänkbart att man genomför perspektivbehandlingsstegen före vridningsbehandlingsstegen, lämpligen efter att först ha omvandlat avbildningen till en punktmängd. Ett sådant steg för detektion av perspektiv kan exempelvis omfatta indelning av avbildningen i ett flertal delmängder, och detektion av minst en riktning i varje delmängd, exempelvis via Fourieranalys av respektive delmängd. Därefter utvärderas de detekterade riktningarnas förändring över avbildningen för beräkning av en transform som kompenserar för perspektivet i avbildningen. Eventuellt kan samma transform även kompensera för vridning i bildplanet. Utvärderingen kan exempelvis
 20 resultera i en identifiering av avbildningens perspektivpunkter, vilka sedermera transformeras till positioner i oändligheten på avbildningens symmetriaxlar, exempelvis medelst en perspektivtransform av det slag som används vid steg 104 ovan. Om transformeringen endast kompenserar
 30 för perspektiv följs denna lämpligen av detektion av vridning och kompensation för densamma, exempelvis enligt ovanstående steg 101-102.

Vidare kan markeringarna ha ett annat utseende än vad som beskrivits i ovanstående exempel. Varje markering kan exempelvis utgöras av ett streck eller en ellips, som börjar i den virtuella rasterpunkten och sträcker sig ut
 5 från denna till en bestämd position. Alternativt kan någon annan symbol användas, såsom en kvadrat, rektangel, triangel, cirkel eller ellips, fylld eller ofylld.

Markeringarna behöver heller inte vara anordnade utefter rasterlinjerna i ett ortogonalt raster utan kan
 10 också vara anordnade i andra arrangemang, såsom utmed rasterlinjerna i ett raster med 60 graders vinkel, etc.

Raster i form av trianglar och hexagoner kan också användas, såsom visas i fig 11 och 12. För exempelvis ett raster av trianglar, se fig 11, kan varje markering vara
 15 förskjuten i sex olika riktningar. För ett hexagonalt raster (bikakeraster), se fig 12, kan markeringarna vara förskjutna i tre olika riktningar, utmed rasterlinjerna. I dessa fall blir bildens huvudvektorer i motsvarande grad fler; i fig 11 finns tre dominerande rasterrikt-
 20 ningar, och i fig 12 finns tre dominerande rasterriktningar.

Såsom nämnts behöver markeringarna inte vara förskjutna utmed rasterlinjerna utan kan vara förskjutna i andra riktningar, t ex för att vara belägna i var sin
 25 kvadrant vid kvadratisk rastermönster. I det hexagonala rastermönstret kan markeringarna vara förskjutna i fyra eller fler olika riktningar, t ex i sex olika riktningar utmed rasterlinjerna och utmed linjer som bildar 60 grader med rasterlinjerna. I ett ortogonalt raster kan
 30 man vid behov använda endast två förskjutningar.

Det må också påpekas att det, beroende på tillgänglig processorkraft, kan vara möjligt att utföra ovan beskrivna Fourieranalys utgående från hela den faktiska bildinformation som registreras av sensorn. Likaså kan
 35 det, om processorkraften är tillräcklig, vara möjligt att beräkna ett fullständigt spatialt frekvensspektrum i två

dimensioner, såsom visas i bakgrunden till fig 3, 5 och 8.

5 Fackmannen inser också att ovan beskrivna analys i frekvensdomänen på motsvarande vis kan verkställas i våglängdsdomänen.

APPENDIX A

Ett optiskt system med förstoringen m avbildar
rymdkoordinaten (x, y, z) på sensorkoordinaten (x_s, y_s)
5 enligt projektionsformeln:

$$\begin{cases} x_s = -m \frac{x}{z} \\ y_s = -m \frac{y}{z} \end{cases} \quad (1)$$

Antag nu två punkter i rymden, P^1 och P^2 . Dessa
ligger på ett lutande plan vars z -komponent beskrivs av
 $z = z_0 + ax + by$. Punkterna P^1 , P^2 ligger vidare symmetriskt på
10 var sin sida av x -axeln, i läge x_0 , och får då koordinat-
terna:

$$\begin{cases} P^1 = (x_0, y_0, z_0 + ax_0 + by_0) \\ P^2 = (x_0, -y_0, z_0 + ax_0 - by_0) \end{cases}$$

Efter projektion enligt (1) hamnar punkterna P^1 , P^2
på sensorkoordinaterna P_s^1 , P_s^2 :

$$15 \quad \begin{cases} P_s^1 = -\frac{m}{z_0 + ax_0 + by_0} (x_0, y_0) \\ P_s^2 = -\frac{m}{z_0 + ax_0 - by_0} (x_0, -y_0) \end{cases}$$

Vi räknar nu ut lutningen i sensorn, $\Delta x_s / \Delta y_s$, mellan
 P_s^1 och P_s^2 :

$$\begin{aligned} \frac{\Delta x_s}{\Delta y_s} &= \frac{-m \cdot \left(\frac{x_0}{z_0 + ax_0 + by_0} - \frac{x_0}{z_0 + ax_0 - by_0} \right)}{-m \cdot \left(\frac{y_0}{z_0 + ax_0 + by_0} + \frac{y_0}{z_0 + ax_0 - by_0} \right)} = \quad (2) \\ &= \frac{(z_0 + ax_0 - by_0) \cdot x_0 - (z_0 + ax_0 + by_0) \cdot x_0}{(z_0 + ax_0 - by_0) \cdot y_0 + (z_0 + ax_0 + by_0) \cdot y_0} = \frac{-bx_0}{z_0 + ax_0} \end{aligned}$$

20 En punkt P^3 mitt på x -axeln, i läge x_0 ,
 $P^3 = (x_0, 0, z_0 + ax_0)$, avbildas enligt (1) på:

$$P_s^3 = -m \cdot \left(\frac{x_0}{z_0 + ax_0}, 0 \right) = (x_s, 0) \quad (3)$$

Vi ser om vi jämför (3) med (2) att lutningen i
sensorn förändras linjärt enligt:

$$\frac{\Delta x_s}{\Delta y_s} = \frac{b}{m} x_s \quad (4)$$

Av symmetriskäl gäller motsvarande ekvation för lutningen i y-led. Vi vet nu alltså:

$$\begin{cases} \frac{\Delta x_s}{\Delta y_s} (x_s) = \frac{b}{m} x_s \\ \frac{\Delta y_s}{\Delta x_s} (y_s) = \frac{a}{m} y_s \end{cases}$$

- 5 Ett raster beläget på det lutande planet kommer förutom denna strikt linjära komponent även innehålla en konstant lutning, om rastret inte är perfekt centrerat. Vi får då följande mer generella ekvation:

$$\begin{cases} \frac{\Delta x_s}{\Delta y_s} (x_s) = \frac{b}{m} x_s + mk_x = kk_x \cdot x_s + mk_x \\ \frac{\Delta y_s}{\Delta x_s} (y_s) = \frac{a}{m} y_s + mk_y = kk_y \cdot y_s + mk_y \end{cases} \quad (5)$$

- 10 Ett generellt perspektiv kan alltså beskrivas av de fyra variablerna mk_x , mk_y , kk_x , kk_y . Nu återstår att hitta transformen som återför bildkoordinaterna till ett ortogonalt förhållande, givet mk_x , mk_y , kk_x , kk_y . För att göra detta subtraherar vi först bort den konstanta delen
15 av lutningen (härhörande från kvarvarande vridning) så att lutningen vid koordinataxlarna är noll:

$$\begin{cases} x_s^t = x_s - y_s \cdot mk_x \\ y_s^t = y_s - x_s \cdot mk_y \end{cases} \quad (6)$$

- Sedan används (1) för att transformera dessa vridningskorrigerade koordinater i bakåtriktningen. Det går
20 utan förlust av generalitet att sätta $z_0 = m$, eftersom detta endast medför skalning av koordinaterna. Vi har

$$\text{från (1): } \begin{cases} x = \frac{z \cdot x_s^t}{-m} \\ y = \frac{z \cdot y_s^t}{-m} \end{cases}$$

$$\text{från (5): } \begin{cases} a = m \cdot kk_y \\ b = m \cdot kk_x \end{cases}$$

samt antagandet: $z = m + ax + by$,

- 25 vilket ger oss det olinjära ekvationssystemet:

$$\begin{cases} x = \frac{(m + m \cdot kk_x \cdot x + m \cdot kk_y \cdot y) \cdot x_s^t}{-m} \\ y = \frac{(m + m \cdot kk_x \cdot x + m \cdot kk_y \cdot y) \cdot y_s^t}{-m} \end{cases}$$

vars lösning är:

$$\begin{cases} x = -\frac{x_s^t}{1 - kk_x \cdot x_s^t - kk_y \cdot y_s^t} \\ y = -\frac{y_s^t}{1 - kk_x \cdot x_s^t - kk_y \cdot y_s^t} \end{cases}$$

där enligt (6):

5

$$\begin{cases} x_s^t = x_s - y_s \cdot mk_x \\ y_s^t = y_s - x_s \cdot mk_y \end{cases}$$

Concurrently filed with the application for this patent are applications entitled Systems and Methods for Information Storage based on Swedish Application No. 0000947-2, filed March 21, 2000, and U.S. Provisional Application No. 60/207,839, filed May 30, 2000; Secured Access Using a Coordinate System based on Swedish Application No. 0000942-3, filed March 21, 2000, and U.S. Provisional Application No. 60/207,850 filed on May 30, 2000; System and Method for Printing by Using a Position Coding Pattern based on Swedish Application No. 0001245-0, filed on April 5, 2000, and U.S. Provisional Application No. 60/210,651, filed on June 9, 2000; Apparatus and Methods Relating to Image Coding based on Swedish Application No. 0000950-6, filed on March 21, 2000, and U.S. Provisional Application No. 60/207,838, filed on May 30, 2000; Apparatus and Methods for Determining Spatial Orientation based on Swedish Application No. 0000951-4, filed on March 21, 2000, and U.S. Provisional Application No. 60/207,844, filed on May 30, 2000; System and Method for Determining Positional Information based on Swedish Application No. 0000949-8, filed March 21, 2000, and U.S. Provisional Application No. 60/207,885, filed on May 30, 2000; Method and System for Transferring and Displaying Graphical Objects based on Swedish Application No. 0000941-5, filed March 21, 2000, and U.S. Provisional Application No. 60/208,165, filed May 31, 2000; Online Graphical Message Service based on Swedish Application No. 0000944-9, filed March 21, 2000, and U.S. Provisional Application No. 60/207,881, filed May 30, 2000; Method and System for Digitizing Freehand Graphics With User-Selected Properties based on Swedish Application No. 0000945-6, filed March 21, 2000, U.S. Provisional Application No. 60/207,882, filed May 30, 2000; Data Form Having a Position-Coding Pattern Detectable by an Optical Sensor based on Swedish

Application No. 0001236-9, filed April 5, 2000, and U.S. Provisional Application No. 60/208,167, filed May 31, 2000; Method and Apparatus for Managing Valuable Documents based on Swedish Application No. 0001252-6, filed April 5, 2000, and U.S. Provisional Application No. 60/210,653 filed June 9, 2000; Method and Apparatus for Information Management based on Swedish Application No. 0001253-4 filed April 5, 2000, and U.S. Provisional Application No. 60/210,652, filed June 9, 2000; Device and Method for Communication based on Swedish Application No. 0000940-7, filed March 21, 2000, and U.S. Provisional Application No. 60/208,166, filed May 31, 2000; Information-Related Devices and Methods based on Swedish Application No. 0001235-1, filed April 5, 2000, and U.S. Provisional Application No. 60/210,647, filed June 9, 2000; Processing of Documents based on Swedish Application No. 0000954-8, filed March 21, 2000, and U.S. Provisional Application No. 60/207,849, filed May 30, 2000; Secure Signature Checking System based on Swedish Application No. 0000943-1, filed March 21, 2000, and U.S. Provisional Application No. 60/207,880, filed May 30, 2000; Identification of Virtual Raster Pattern, based on Swedish Application No. 0001235-1, filed April 5, 2000, and U.S. Provisional Application No. 60/210,647, filed June 9, 2000, and Swedish Application No. 0004132-7, filed November 10, 2000, and U.S. Provisional Application No. _____, filed January 12, 2001; and a new U.S. Provisional Application entitled Communications Services Methods and Systems.

The technical disclosures of each of the above-listed U.S. applications, U.S. provisional applications, and Swedish applications are hereby incorporated herein by reference. As used herein, the incorporation of a "technical disclosure" excludes

incorporation of information characterizing the related art, or characterizing advantages or objects of this invention over the related art.

PATENTKRAV

1. Sätt att identifiera ett virtuellt rastermönster
5 (5) i en avbildning av ett flertal markeringar (4) som
var och en är associerad med en respektive korsningspunkt
(6) för rasterlinjer (7) tillhörande nämnda rastermönster
(5), k ä n n e t e c k n a t av att det virtuella raster-
mönstret (5) identifieras via Fourieranalys av nämnda
10 avbildning.

2. Sätt enligt krav 1, omfattande steget att före
Fourieranalysen omvandla avbildningen till en uppsättning
enhetspulser, vilka placeras i markeringarnas (4) posi-
tioner i avbildningen.

15 3. Sätt enligt krav 2, varvid varje enhetspuls pla-
ceras i tyngdpunkten av motsvarande markering (4).

4. Sätt enligt något av kraven 1-3, varvid nämnda
Fourieranalys omfattar stegen:

att beräkna ett spatialt frekvensspektrum i två
20 dimensioner på basis av nämnda avbildning,

att utgående från nämnda frekvensspektrum identi-
fiera minst två huvudvektorer hos nämnda avbildning, och

att på basis av nämnda huvudvektorer identifiera
rasterlinjerna (7) hos nämnda rastermönster (5).

25 5. Sätt enligt krav 4, varvid det spatiala frek-
vensspektrat beräknas utgående från en tvådimensionell
Fouriertransform längs minst två riktningar i nämnda
avbildning.

6. Sätt enligt kraven 4 eller 5, varvid det spatiala
30 frekvensspektrat beräknas på basis av ett centralt parti
av avbildningen.

7. Sätt enligt något av kraven 4-6, varvid steget
att identifiera minst två huvudvektorer omfattar del-
stegen:

35 att i det spatiala frekvensspektrat lokalisera
positioner för toppar som överskrider ett givet tröskel-
värde, och

att på basis av nämnda positioner välja nämnda minst två huvudvektorer.

8. Sätt enligt något av kraven 4-7, varvid stegen att beräkna ett spatialt frekvensspektrum och identifiera
5 huvudvektorer däri omfattar delstegen:

att stegvis ändra riktningen för en riktningsvektor inom ett vinkelintervall,

att på basis av varje sådan riktningsvektor beräkna minst ett absolutvärde av den tvådimensionella Fourier-
10 transformen för avbildningen, och

att identifiera de absolutvärden som överskrider nämnda tröskelvärde.

9. Sätt enligt krav 8, varvid riktningsvektorns längd ändras inom ett frekvensintervall som innefattar
15 rastermönstrets (5) nominella spatialfrekvens.

10. Sätt enligt krav 9, varvid riktningsvektorns längd ändras stegvis, företrädesvis i steg som är omvänt proportionella mot ett 2-potens-värde.

11. Sätt enligt något av kraven 8-10, varvid positionen för var och en av nämnda toppar lokaliseras genom
20 beräkning av tyngdpunkten för de absolutvärden som överskrider nämnda tröskelvärde och som begränsar varandra i det spatiala frekvensspektrat.

12. Sätt enligt något av kraven 7-11, varvid delsteget att välja minst två huvudvektorer omfattar:
25

att låta varje position identifiera en kandidatvektor (c1-c3),

att låta minst en aktuell avbildningstransform, som ger en given ändring av förhållandet mellan två vektorer,
30 operera på nämnda kandidatvektorer (c1-c3), och

att som huvudvektorer välja de kandidatvektorer som för nämnda minst en aktuell avbildningstransform uppnår ett önskat inbördes förhållande.

13. Sätt enligt krav 12, varvid varje aktuell avbildningstransform motsvarar ett givet avbildningsförhållande mellan en sensor (14) som registrerar nämnda
35

avbildning och ett objekt (1) som är försett med nämnda flertal markeringar (4).

14. Sätt enligt krav 12 eller 13, omfattande stegen att sekventiellt låta en serie av olika aktuella avbildningstransformer operera på nämnda kandidatvektorer (c1-c3), åtminstone tills ett önskat inbördes förhållande uppnås mellan nämnda kandidatvektorer.

15. Sätt enligt något av kraven 12-14, varvid nämnda rastermönster (5) identifieras på basis av den avbildningstransform som gav upphov till det önskade förhållandet mellan kandidatvektorerna (c1-c3).

16. Sätt enligt krav 12 eller 13, varvid den aktuella avbildningstransformen väljs på basis av en tidigare avbildningstransform som gav upphov till det önskade förhållandet för en föregående avbildning.

17. Sätt enligt något av kraven 4-16, varvid nämnda huvudvektorer väljs på basis av tidigare huvudvektorer som fastställts för en föregående avbildning.

18. Sätt enligt något av föregående krav, omfattande steget att transformera nämnda markeringar (4) med huvudvektorerna som bas för åstadkommande av en vridningskorrigerad avbildning i vilken vridning av markeringarna (4) över avbildningens bildplan är väsentligen eliminerad.

19. Sätt enligt krav 18, omfattande det ytterligare steget att kompensera för perspektiv i den vridningskorrigerade avbildningen.

20. Sätt enligt krav 18 eller 19, omfattande de ytterligare stegen:

30 att fastställa bredden på de mot huvudvektorerna svarande topparna i ett spatialt frekvensspektrum av nämnda vridningskorrigerade avbildning, och

35 att kompensera för perspektiv i den vridningskorrigerade avbildningen om bredden överstiger ett givet breddvärde.

21. Sätt enligt krav 19 eller 20, varvid steget att kompensera för perspektiv omfattar delstegen:

att mäta en lutningsvariation för rastermönstret längs varje huvudvektor i den vridningskorrigerade avbildningen,

- 5 att på basis av den uppmätta lutningsvariationen beräkna en perspektivtransformation som väsentligen eliminerar nämnda lutningsvariation, och

att medelst perspektivtransformationen åstadkomma en perspektivkorrigerad avbildning.

22. Sätt enligt krav 21, varvid mätningen av lutningsvariationen för rastermönstret längs en vald huvudvektor omfattar delstegen:

- 15 att via Fourieranalys av minst två längs den valda huvudvektorn fördelade delmängder av den vridningskorrigerade avbildningen beräkna minst en delmängdshuvudvektor för varje delmängd,

att för varje delmängdshuvudvektor identifiera en utgångsposition i den tillhörande delmängden, och

- 20 att på basis av nämnda delmängdshuvudvektorer och utgångspositioner beräkna lutningsvariationen längs den valda huvudvektorn.

23. Sätt enligt krav 22, varvid utgångspositionen identifieras på basis av tyngdpunkten för de i respektive delmängd ingående markeringarna.

24. Sätt enligt något av kraven 18-23, omfattande de ytterligare stegen:

att via Fourieranalys av den vridningskorrigerande eller perspektivkorrigerade avbildningen mäta dess fasförskjutning längs respektive huvudvektor, och

- 30 att på basis av de uppmätta fasförskjutningarna lokalisera rastermönstret (5) relativt nämnda markeringar (4) i avbildningen.

25. Sätt enligt krav 24, omfattande det ytterligare stegen:

- 35 att beräkna en normeringstransformation som placerar rastermönstrets (5) korsningspunkter (6) på ett givet inbördes avstånd, och

att operera normeringstransformen på avbildningen
för åstadkommande av en normerad avbildning.

26. Sätt att identifiera ett virtuellt rastermönster
(5) i en avbildning av ett flertal markeringar (4) som
5 var och en är associerad med en respektive korsningspunkt
(6) för rasterlinjer (7) tillhörande nämnda rastermönster
(5), k ä n n e t e c k n a t av stegen:

att via Fourieranalys detektera huvudvektorer hos
avbildningen,

- 10 att på basis av nämnda huvudvektorer kompensera för
vridning i avbildningens bildplan,

att detektera ett perspektiv i avbildningen,

att, vid behov, kompensera för nämnda perspektiv,
och

- 15 att, på basis av nämnda huvudvektorer, identifiera
det virtuella rastermönstret (5).

27. Datorprogramprodukt som är avläsbar för en dator
och innefattar ett datorprogram med instruktioner för att
bringa datorn att genomföra ett sätt enligt något av

- 20 kraven 1-26.

28. Anordning för positionsbestämning, innefattande
en sensor (14) för åstadkommande av en avbildning av en
delyta av en yta (2), som är försedd med en positionskod
i form av ett flertal markeringar (4) som var och en är
25 associerad med en av ett flertal korsningspunkter (6)
tillhörande ett virtuellt rastermönster (5), och ett
bildbehandlingsorgan (16), som är anordnat att utifrån en
delmängd av ytan (2) beräkna en position för delytan,
varvid bildbehandlingsorganet (16) är utformat att iden-
30 tifiera det virtuella rastermönstret (5) i enlighet med
något av kraven 1-26.

29. Anordning enligt krav 28, vilken är handhållen.

30. Anordning enligt krav 28 eller 29, vilken har
ett organ (19) för trådlös överföring av positionsinfor-
35 mation.

SAMMANDRAG

- 5 Ett sätt syftar till att identifiera ett virtuellt rastermönster i en avbildning av en yta som är försedd med ett flertal positionskodande markeringar. Varje markering är associerad med en respektive korsningspunkt för rasterlinjer tillhörande rastermönstret. Vid sättet identifieras det virtuella rastermönstret via Fourier-analys av avbildningen.
- 10 En datorprogramprodukt och en anordning för positionsbestämning beskrivs också.
- 15
- 20
- 25 Publ.bild: fig 2